

# Achslastdaten von Kraftfahrzeugen für die Kostenallokation

- o Nutzungsdauerberechnungen für Fahrbahnen
- o Achslastdatenerfassung
- o Nutzung für Funktionsbauverträge, Mauterfassung nach dem Verursacherprinzip

Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Detmold

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan  
Ingenieurgemeinschaft ConVia, Hannover

# **Aufbau und Beanspruchung von Verkehrsflächenbefestigungen**

## Aufbau von Verkehrsflächenbefestigungen

- Verkehrsflächenbefestigungen sind mehrschichtig aufgebaute Linienbauwerke

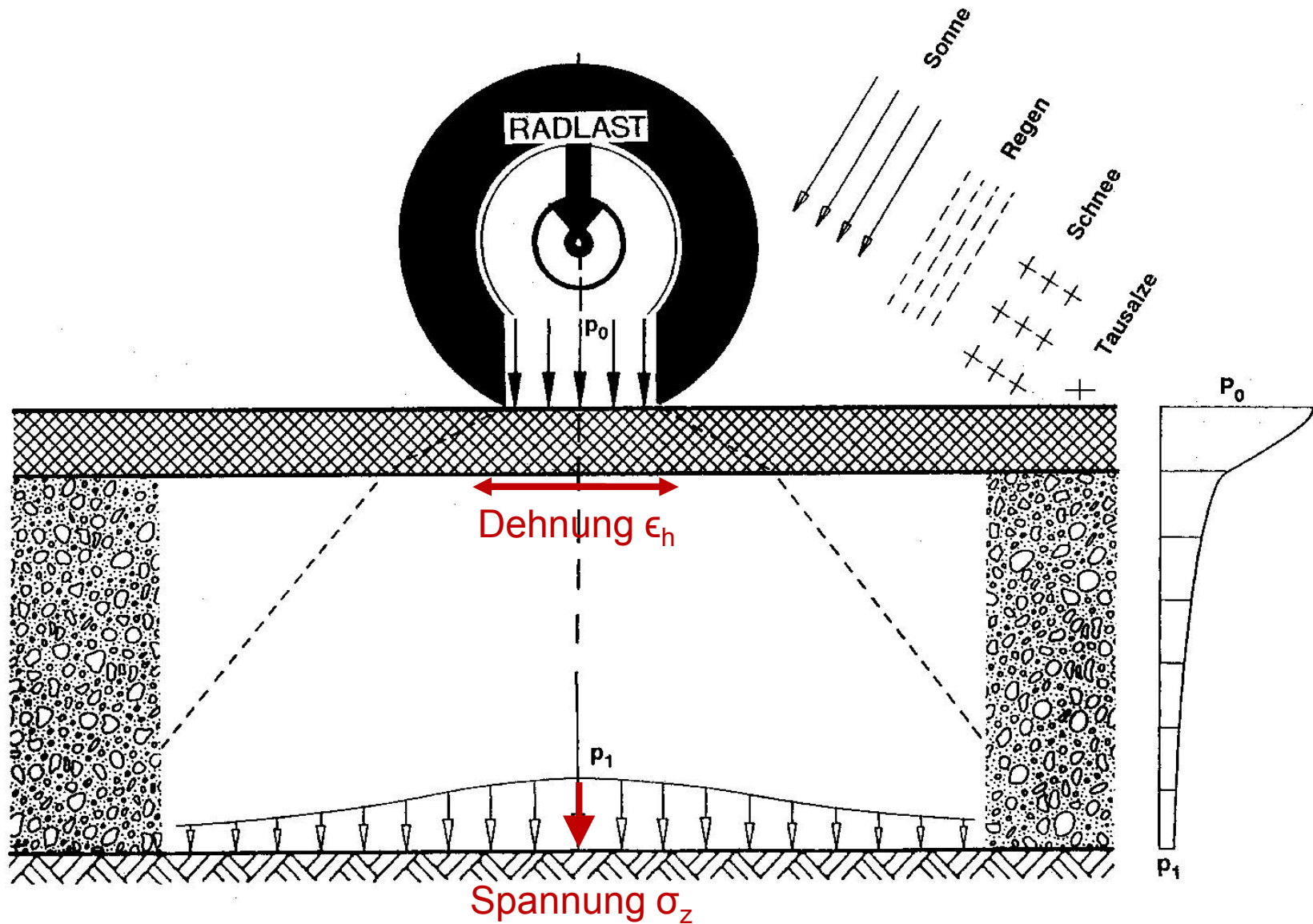


Foto: C. Bachmann

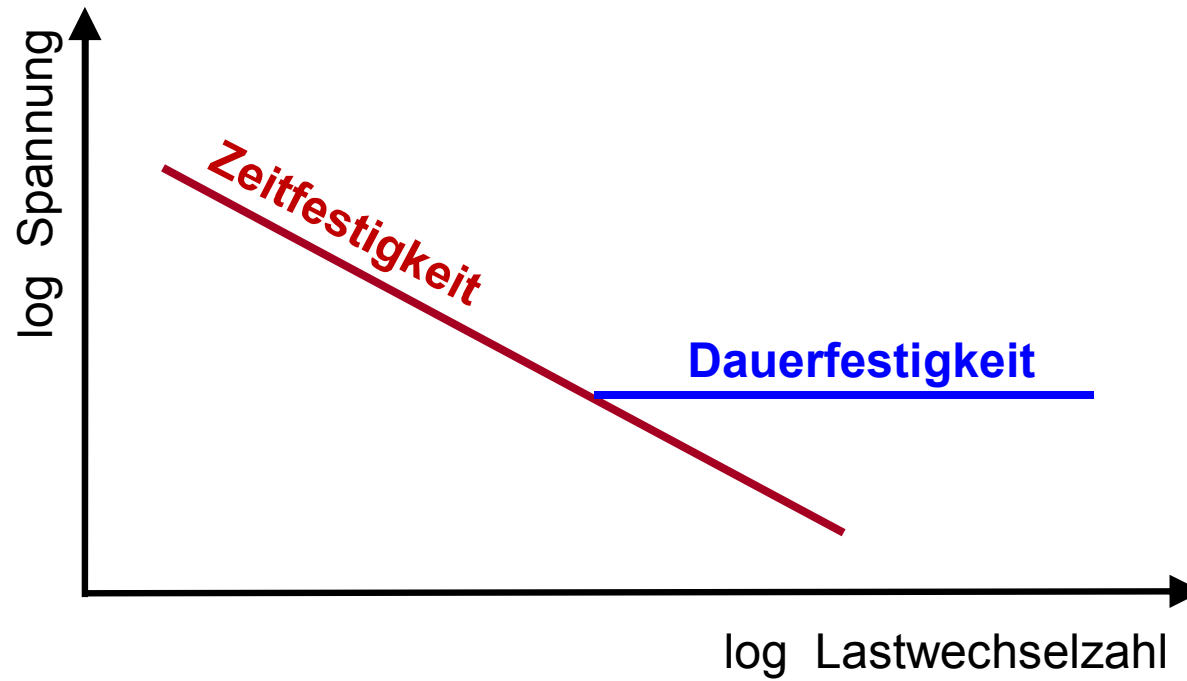
## Substanzbegriff

- Verkehrsflächenbefestigungen = Verbrauchsobjekte, besitzen im Neuzustand eine gewisse strukturbedingte Substanz.
- Straßenbaustoffe besitzen keine Dauer-, sondern eine Zeitfestigkeit, d. h. die Substanz wird durch Verkehrs- und Klimaeinwirkung im Verlauf der Nutzungsdauer aufgebraucht.
- "Substanz" = eine Reihe zustandsbewahrender Eigenschaften der Gesamtkonstruktion.
- Verkehrsflächenbefestigung muss beim Neubau einen Anfangsbestand an Substanz aufweisen, der auf die in der Nutzungsdauer zu erwartende Verkehrsmenge abgestimmt werden muss.
- Substanzverzehr lässt sich äußerlich an den Veränderungen des Oberflächenzustandes der Fahrbahn erkennen und erfassen.

# Beanspruchung von Verkehrsflächenbefestigungen



## Zeitfestigkeit von Straßenbaustoffen



Quelle: Lempe, U.: Dynamischer Schubmodul und Dauerschubfestigkeit bituminös gebundener Baustoffe; Reihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Heft 130 (1972)

# Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen

## Ermüdung / Substanzverzehr

Ermüdungsbeitrag eines bestimmten Beanspruchungszustandes:

$$C = \frac{\text{vorh } n_i}{\text{zul } N_i}$$

$$= \frac{\text{Anzahl tatsächlich im Beanspruchungszustand } i \text{ erfolgender Lastwiederholungen}}{\text{Anzahl der im Beanspruchungszustand } i \text{ ertragbarer Lastwiederholungen}}$$

Der Beanspruchungszustand wird beeinflusst durch:

- Fahrbahnmodell (Schichtenaufbau, Schichteigenschaften)
- klimatisch-hydrologischer Zustand der Schichten
- Achs-/Radlast (Lastintensität, Radaufstandsfläche)

Quelle: Miner, M. A.: Cumulative Damage in Fatigue; Journal of Applied Mechanics, Vol. 12, No. 3 (1945)



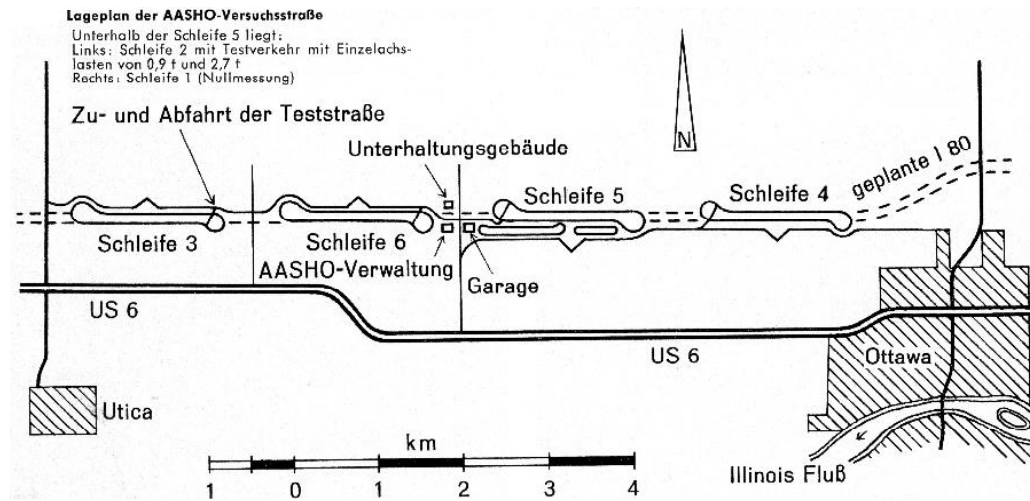
## Anzahl ertragbarer Lastwiederholungen

$$zul\ N = K_1 \cdot \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{K_2}$$

- zul N Anzahl ertragbarer Lastwechsel mit dem angesetzten Beanspruchungszustand bis zum Bruch
- $\epsilon$  Maßgebende Dehnung im kraftgeregelten Belastungsversuch
- $\epsilon_h$  Max. Horizontaldehnung
- $K_1, K_2$  Temperaturabhängige Systemparameter

Erste Aussagen zur Größe der Koeffizienten  $K_1$  und  $K_2$  wurden aus den Auswertungen des AASHO-Road-Tests abgeleitet.

# AASHO-Road-Test (1958 - 1960)



Schleife	Spur	Gewicht in Tonnen		
		Lenkachse	Lastachse	Totalgewicht
②	①	0,9	0,9	1,8
	②	0,9	2,7	3,6
③	①	1,8	5,5	12,8
	②	2,7	10,9	24,5
④	①	2,7	8,2	19,1
	②	4,1	14,5	33,1
⑤	①	2,7	10,2	23,1
	②	4,1	18,2	40,5
⑥	①	4,1	13,6	31,3
	②	5,5	21,8	49,1

Quelle: Mittmeyer, H.: Zur Frage des AASHO-Road-Tests aus amerikanischer und westeuropäischer Sicht; Straßenbau-Technik Nr. 3 - 1. Februar 1963

## 4.-Potenz-Gesetz / Achslastäquivalenz

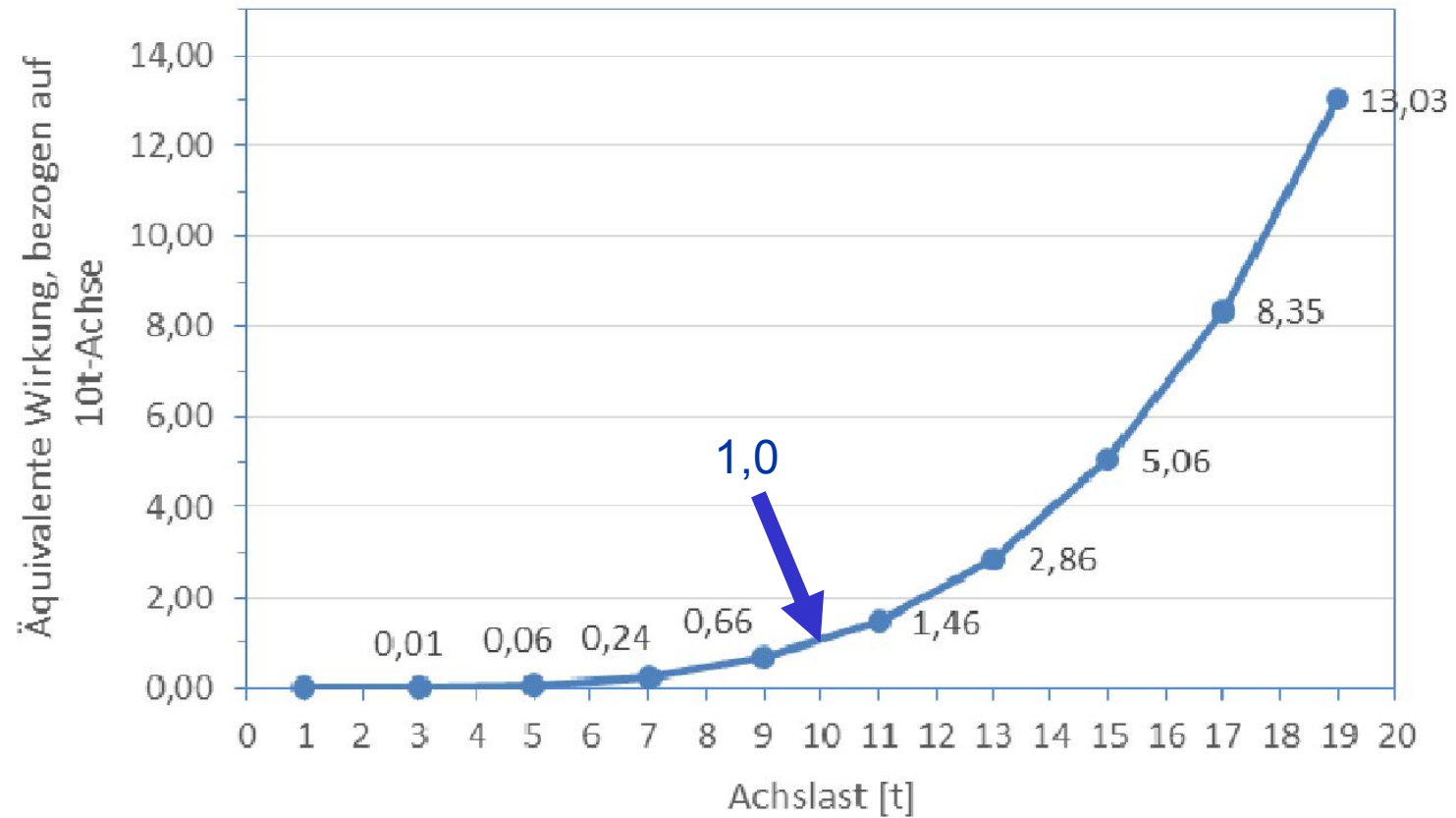
Teilergebnis des AASHO-Road-Tests:

$$\textit{äquivalente Wirkung} = \left( \frac{\textit{tatsächliche Achslast}}{\textit{Bezugsachslast}} \right)^4$$

Dies entspricht einem Ausgangswert in der MINERschen Schadensakkumulation von  $K_2 = 4$

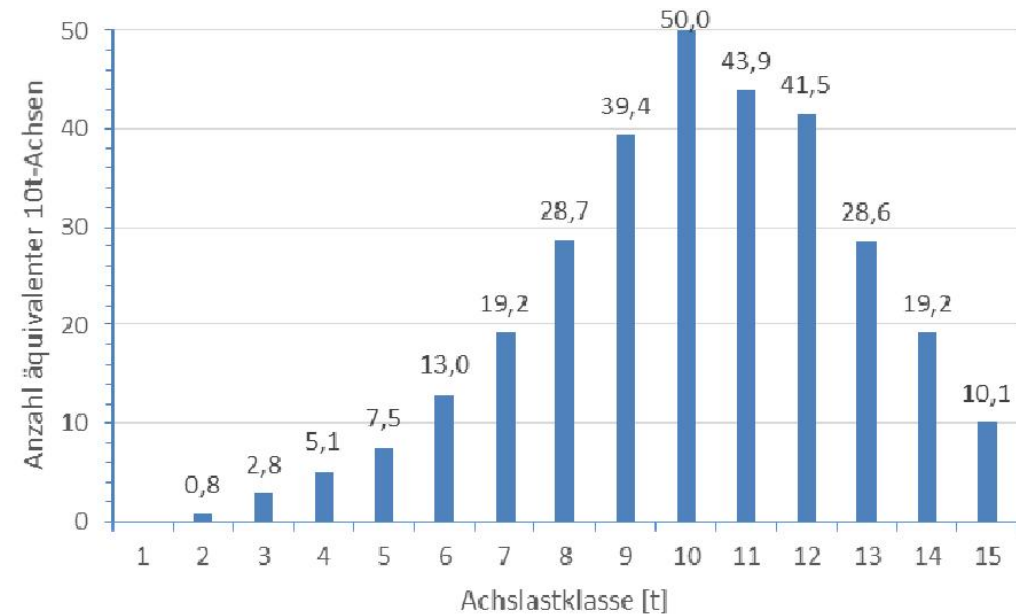
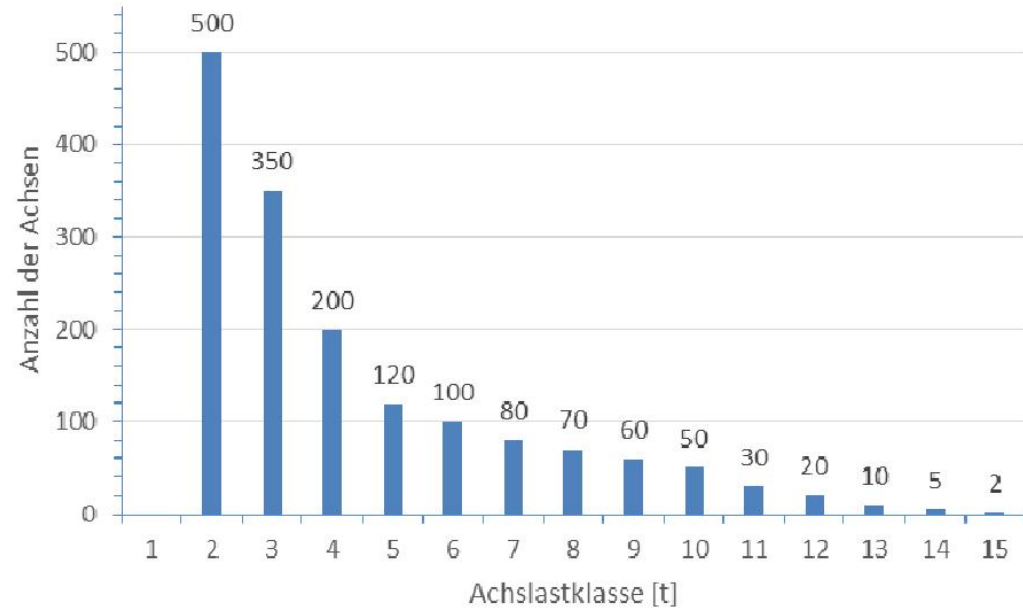
Quelle: Der AASHO-Road-Test; Reihe "Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen", Heft 73; Kirschbaum Verlag (1968)

## 4.-Potenz-Gesetz



# 4.-Potenz-Gesetz

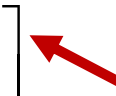
(Beispiel;  
nur Kfz > 3,5 t)



## Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B als Eingangsgröße für die Oberbaudimensionierung

$$B = 365 \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^N \left[ EDTA_{i-1}^{(SV)} \cdot f_{1i} \cdot f_{2i} \cdot (1 + p_i) \right]$$

mit

$$EDTA_{i-1}^{(SV)} = \sum_k \left[ DTA_{i-1,k}^{(SV)} \cdot \left( \frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right]$$


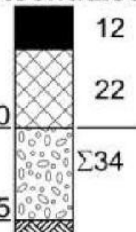
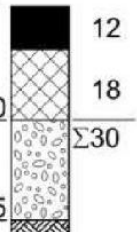
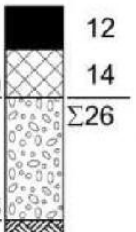

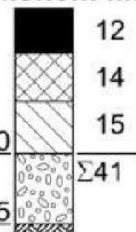
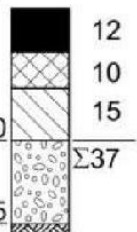
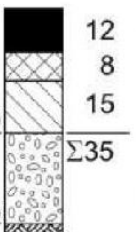
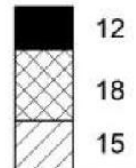
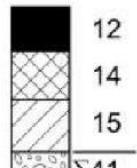
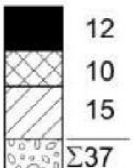
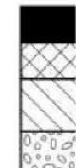
- B Gewichtete äquiv. 10 t-Achsübergänge im zugrunde gel. Nutzungszeitraum [-]
- N Anzahl der Jahre i des zugrundegelegten Nutzungszeitraumes [-] **i. a. 30 J.**
- $EDTA^{(SV)}$  Durchschnittliche Anzahl der tägl. SV-Achsübergänge [Aü/24h]
- $DTA^{(SV)}_k$  Durchschnittl. Anzahl der tägl. SV-Achsübergänge im Nutzungsjahr i-1 in der Lastklasse k [Aü/24h]
- k Lastklasse, als Gruppe von Einzelachslasten definiert
- $L_k$  Mittlere Achslast (Achsmasse) in der Lastklasse k [t]
- $L_0$  Bezugsachslast: **10 t**
- $f_{1i}, f_{2i}, f_3$  Faktoren für Trassierungsparameter (Fahrstreifenanzahl und -breite, Steigung) [-]
- $p_i$  Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i [-]

Quelle: FGSV: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12)

# Festlegung der Oberbau-Schichtdicken (auszugsweise für Asphalt)

Konstruktionsdicke abhängig von der Verkehrsbelastung und den örtlichen Gegebenheiten →

Bauweisen untereinander gleichwertig

Zeile	Belastungsklasse	Bk100				Bk32				Bk10				Bk3		
	B [Mio]	> 32				> 10 - 32				> 3,2 - 10				> 1,8 -		
	Dicke des frostsich. Oberbaues <sup>1)</sup>	55	65	75	85	55	65	75	85	55	65	75	85	45	55	65
<b>Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht</b>																
1	Asphaltdecke															
	Asphalttragschicht	22				18				14				10		
	Frostschuttschicht	45				45				45				45		
	Dicke der Frostschuttschicht	-	31 <sup>2)</sup>	41	51	25 <sup>3)</sup>	35	45	55	29 <sup>3)</sup>	39	49	59	-	33 <sup>2)</sup>	43
<b>Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschicht aus frostunempfindlichem Material</b>																
2.1	Asphaltdecke															
	Asphalttragschicht	14				10				8						
	Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	15				15				15						
	Frostschuttschicht	45				45				45						
Dicke der Frostschuttschicht	-	-	34 <sup>2)</sup>	44	-	28 <sup>3)</sup>	38	48	-	30 <sup>2)</sup>	40	50				
2.2	Asphaltdecke															
	Asphalttragschicht	18				14				10				10		
	Verfestigung	15				15				15				15		
	Schicht aus	15				15				15				15		

Quelle: FGSV: RStO 12

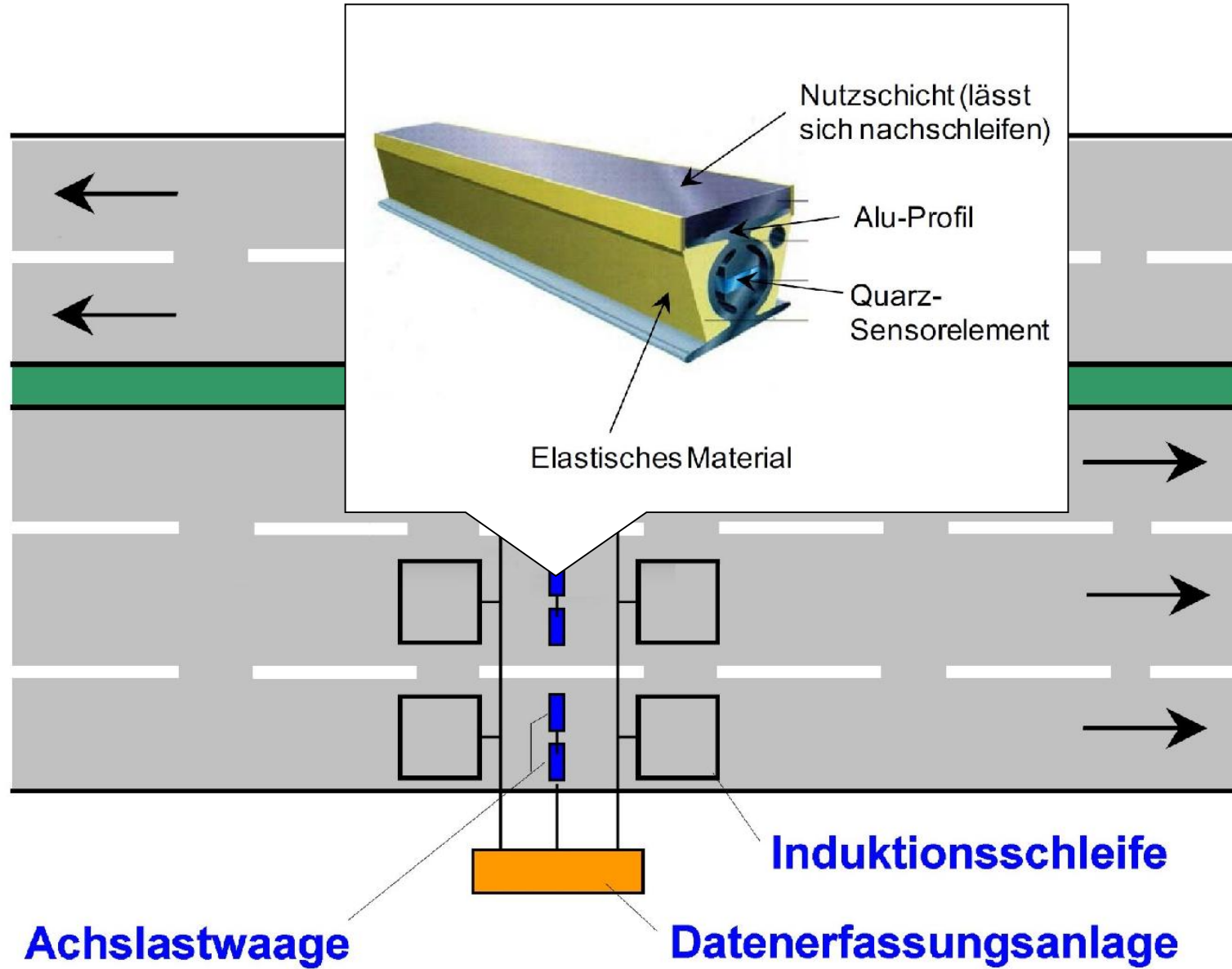
# Erfassung von Achslastdaten mit Achslastwaagen



## Übliche Angaben zur Verkehrsbelastung: Verkehrsmengen (Pkw, Lkw)



## Achslastwaage



## Anforderungen für Achslastwägestellen

- Fahrstreifenbreite  $> 3$  m,
- Längsneigung 45 m vor und 20 m nach den Sensoren  $\leq 2$  %,
- Querneigung 45 m vor und 20 m nach den Sensoren  $\leq 2$  %,
- geringe Fahrbahnunebenheiten, Profiltiefe in Quer- und Längsrichtung unter einer 4 m langen Messlatte  $< 4$  mm,
- Kurvenradius  $> 1.700$  m und
- möglichst gleichmäßiger Verkehrsablauf (wenig Brems- und Beschleunigungsvorgänge oder Fahrstreifenwechsel).

Investitionsaufwand (2 Fahrstreifen): ca. 200.000 €

Quelle: Wolf, A.: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 61 (2010)

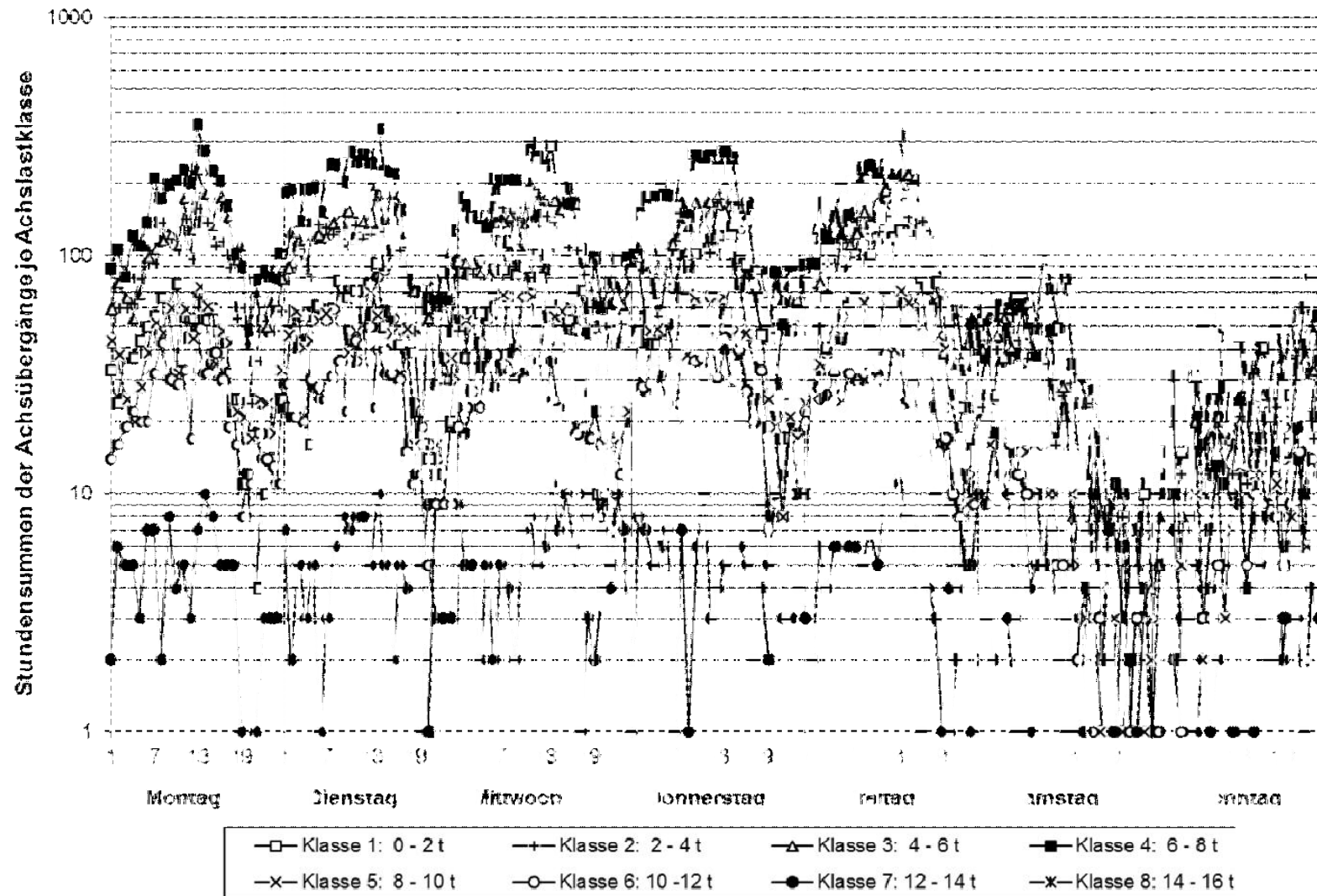
## Achslastwägestellen der Bundesanstalt für Straßenwesen auf BAB

- Achslastwaagen der 1. Generation sind nicht mehr funktionsfähig.
- In Betrieb sind einige Messstellen der 2. Generation und (seit 2011) die Messstellen der 3. Generation.
- Z. Z. in Betrieb sind 14 Richtungsmessstellen
- Achslastmessstellen erfassen nicht kontinuierlich, sondern weisen Ausfälle auf, die sowohl auf eine nicht mehr ganz ebene Fahrbahn als auch auf Sensorfehler/Sensorausfälle zurückzuführen sind.

**14 Richtungsmessstellen sind völlig unzureichend, um die achslastbezogene Verkehrsbelastung auf BAB ausreichend zu erfassen!**



## Auswertung von Achslastdaten einer Achslastwaage (BAB A24)



Quelle der Daten: Bundesanstalt für  
Straßenwesen

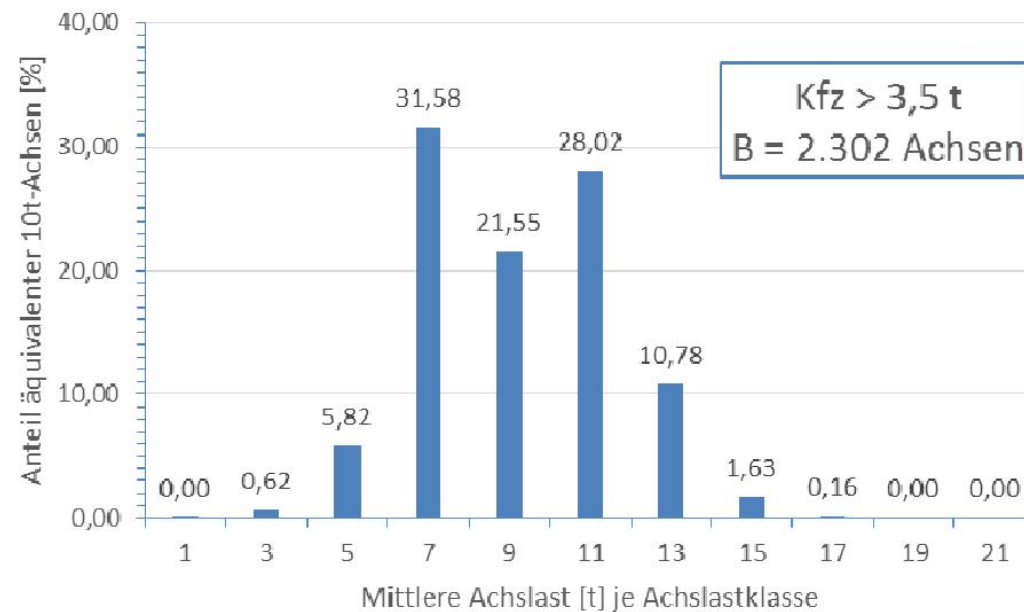
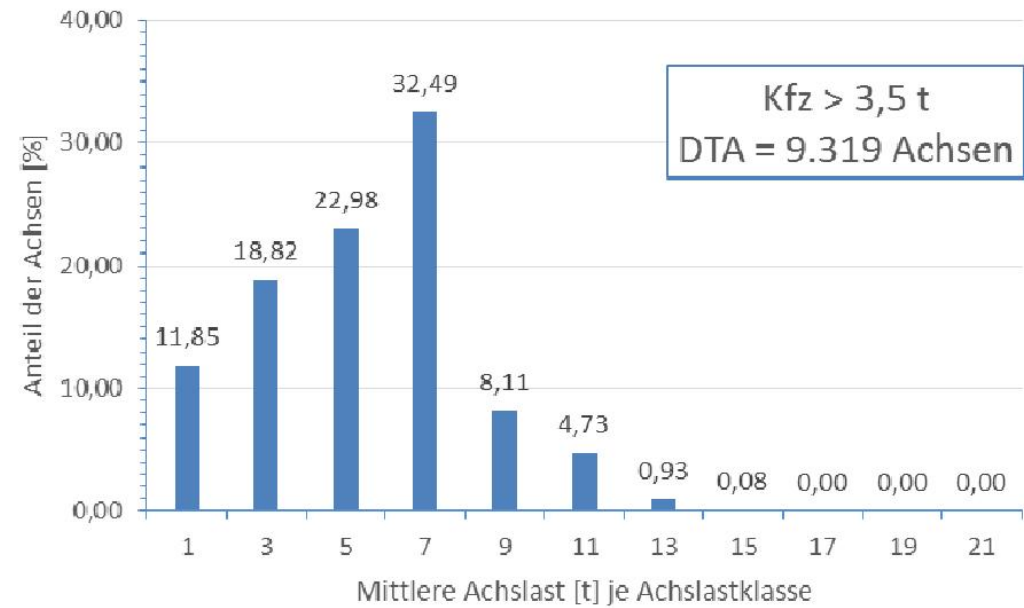
Kfz > 3,5 t

Woche 20.03. - 26.03.2006

# Auswertung von Achslastdaten einer Achslastwaage (BAB A24)

Woche:  
20.03. - 26.03.2006

Quelle der Daten: Bundesanstalt für Straßenwesen

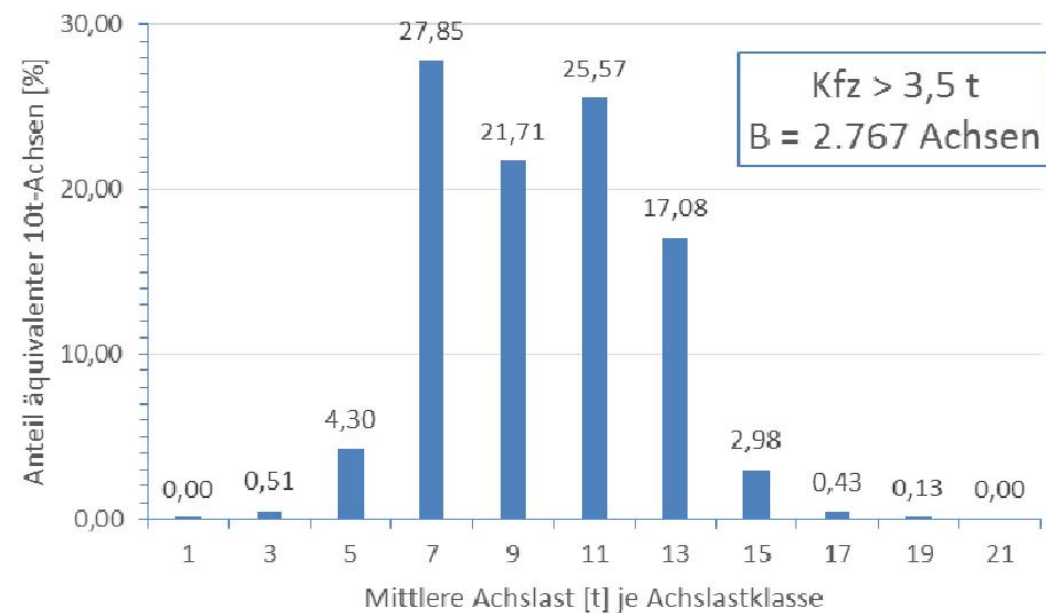
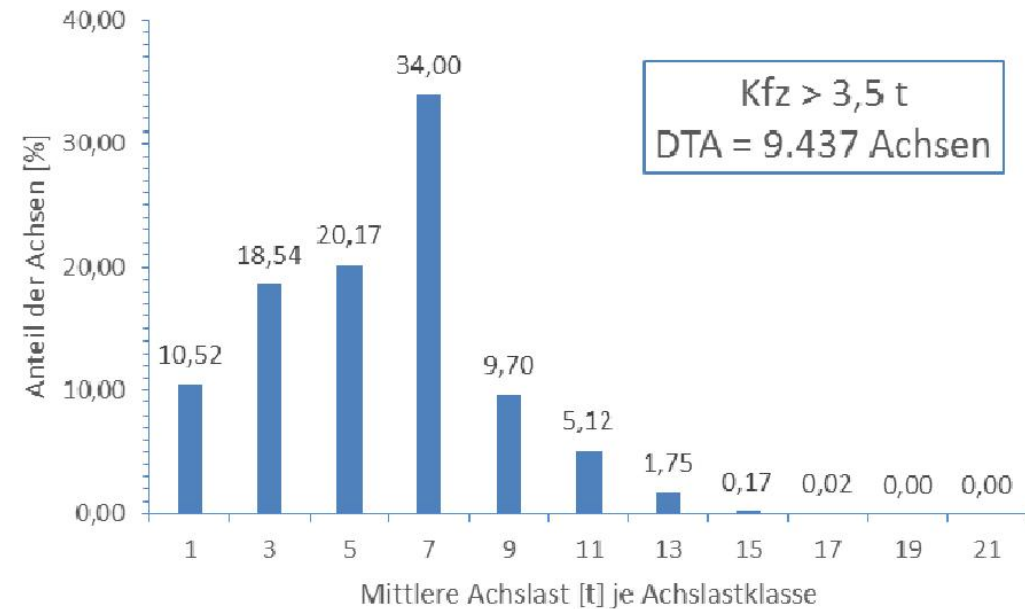


## Auswertung von Achslastdaten einer Achslastwaage (BAB A24)

Woche:  
20.03. - 26.03.2013

Zuwachs gegenüber 2006:  
 Achsen: 1,3 %  
 10 t-äquiv. Achsen: 20,2 %

Quelle der Daten: Bundesanstalt für Straßenwesen



# Achslastwaage zur Ahndung von Überladungen (BAB A8) EU-Projekt ASSET



Vorsortierung mit fahrbahnintegrierter Achslastwaage



# Achslastwaage zur Ahndung von Überladungen (BAB A8) EU-Projekt ASSET

The interface displays a real-time view of a truck on the left and a list of passing vehicles on the right. The truck's status is highlighted in red, indicating a significant overload.

**Truck Status:**  
**Zugmaschine ist stark überladen 20,8% +3.750kg**  
 Bußgeld: 190 EUR und 3 Punkte  
 Vorbeifahrt in 00:31 Min 88km/h

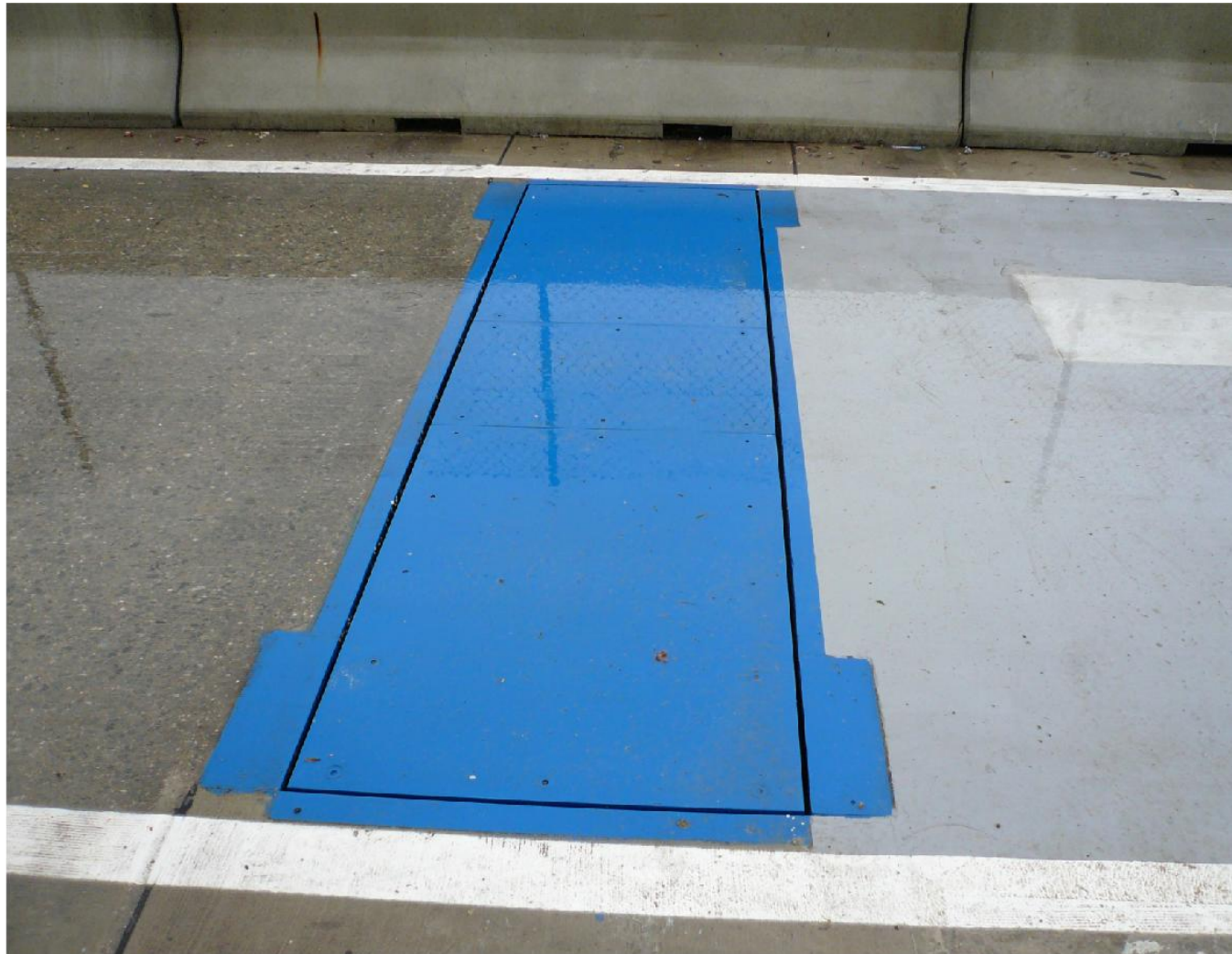
Gesamtgewicht	35.270kg	36.000kg	-2,03%
<b>Zugmaschine (AB):</b>	<b>21.750kg</b>	<b>18.000kg</b>	<b>20,83%</b>
Anhänger (CD):	13.520kg	18.000kg	-24,89%
Achsgruppe A:	8.370kg	10.000kg	-16,30%
Achsgruppe B:	13.380kg	11.500kg	16,35%
Achsgruppe C:	13.520kg	20.000kg	-32,40%
Achse 1:	8.370kg	10.000kg	-16,30%
Achse 2:	13.380kg	11.500kg	16,35%
Achse 3:	7.290kg	10.000kg	-27,10%
Achse 4:	6.230kg	10.000kg	-37,70%

**Passing Vehicle List:**

- > 0% > 5% **> 10%** > 15% > 20%
- Vorbeifahrt in 01:01 Min  
33.470kg 85km/h  
Zugmaschine: 14,9% **110 EUR**
- Vorbeifahrt in 00:54 Min  
41.130kg 88km/h  
Anhänger: 3,3% **0 EUR**
- Vorbeifahrt in 00:31 Min  
35.270kg 88km/h  
**Zugmaschine: 20,8%** **190 EUR**
- Vorbeifahrt vor 00:11 Min  
45.540kg 88km/h  
Gesamtfahrzeug: 13,8% **110 EUR**
- Vorbeifahrt vor 00:16 Min  
42.910kg 92km/h  
Gesamtfahrzeug: 7,3% **80 EUR**
- Vorbeifahrt vor 00:57 Min  
6.300kg 92km/h  
**Gesamtfahrzeug: 80,0%** **380 EUR**
- Vorbeifahrt vor 00:52 Min

ROC Systemtechnik GmbH Elisabethstrasse 69, 8010 Graz, Austria 0043 316 337906 office@rocgbh.com

# Achslastwaage zur Ahndung von Überladungen (BAB A8) EU-Projekt ASSET



Geeichte Achslastwaage auf benachbartem Parkplatz

# Vertragliche Relevanz von Achslastdaten in ÖPP-Projekten

## Beispiel eines Funktionsbauvertrages

Vertragsbestandteil ist

- die Erneuerung der Fahrbahnbefestigung einer Autobahn auf der Basis **selbst festgelegter Baustoffspezifikationen, Einbauverfahren und Schichtdicken,**
- die Bauliche Erhaltung für 25 Jahre ab Übergabe, **jedoch längstens bis die Summe der um 10 % erhöhten äquivalenten 10 t-Achslasten in Höhe von 50 Mio. überschritten ist.**

## Achslasten in der Lkw-Maut?

## Mautregelung

Mautsätze 01.01.2015 - 30.09.2015 für Lkw ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht	
Mautsatzanteil für Luftverschmutzung	Mautsatzanteil für Infrastruktur
Schadstoffklassen A: 0 bis F: 8,3 Cent	<b>bis 3 Achsen: 12,5 Cent</b>
	<b>ab 4 Achsen: 13,1 Cent</b>

Mautsätze ab 01.10.2015 für Lkw ab 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht	
Mautsatzanteil für Luftverschmutzung	Mautsatzanteil für Infrastruktur
Schadstoffklassen A: 0 bis F: 8,3 Cent	<b>2 Achsen: 8,1 Cent</b>
	<b>3 Achsen: 11,3 Cent</b>
	<b>4 Achsen: 11,7 Cent</b>
	<b>ab 5 Achsen: 13,5 Cent</b>

Die Mautsätze fördern den Einsatz von Fahrzeugen mit geringerer Achszahl, führen somit zu höheren Achslasten!

# Fahrzeuggestützte Achslasterfassung



# Elektron. Stabilitätsprogramm / autom. Höhenniveauregulierung

## Adaptives Stabilitätsprogramm:

- Erweiterung des ESP,
- Masse und aktueller Beladungszustand werden erkannt,
- für Fahrzeuge mit hohem Schwerpunkt: Lkw, Wohnmobile, Kleintransporter.

## Load Adaptive Control (LAC):

- Gemessen wird das Fahrzeugverhalten bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen,
- ergänzend zum Gesamtgewicht wird die Verteilung der Ladung und die Schwerpunktlage bestimmt,
- das Ansprechverhalten von ASR und ESP wird auf diese Werte abgestimmt.



## Achslastmesseinrichtung (bei allen NFZ-Herstellern)

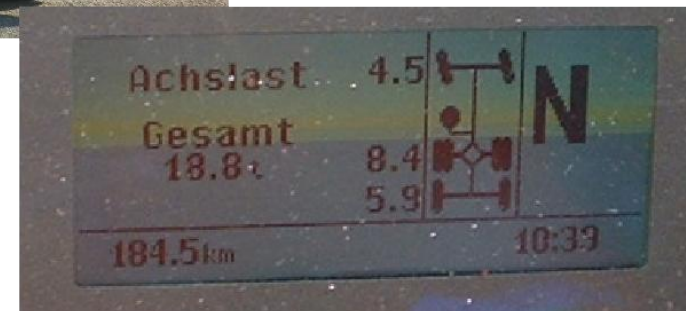
### Zusatzeinrichtung Lkw:

- Drucksensoren (zukünftig an Luftfederung) erfassen Luftfedertraglast (für Höhenregulierung),
- Achsgewichte werden daraus ermittelt und dem Fahrer angezeigt,
- Daten ließen sich an stationäre Erfassungssysteme weiterleiten.

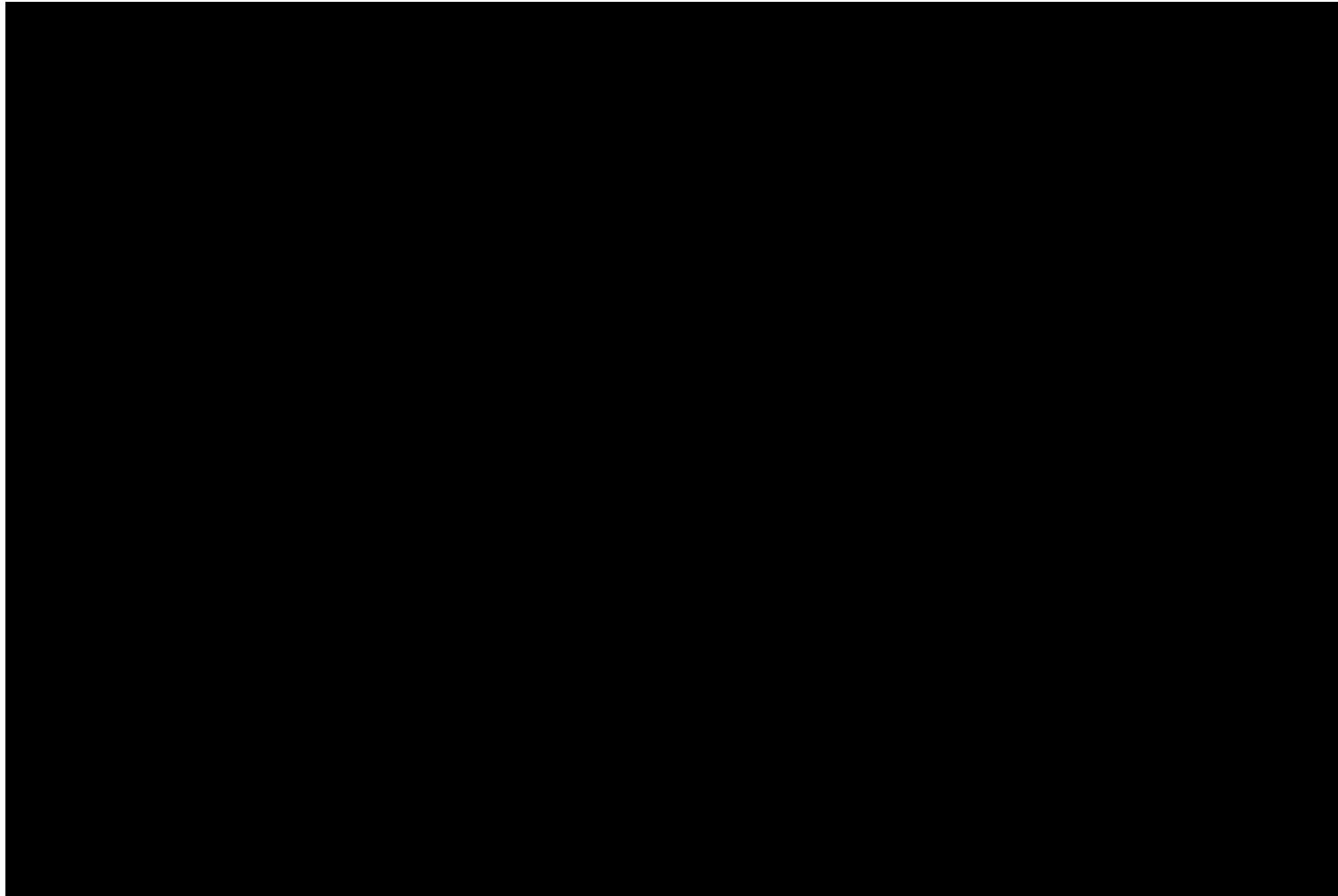
# Achslastmesseinrichtung Mercedes-Benz Econic



Fotos: Stadt Detmold, Städtische Betriebe, Team Abfallwirtschaft



# Achslastmeseinrichtung MAN



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=1f7gzSEnFrQ> (Freigabe durch MAN Corporate Communications)

# Fazit

## Fazit

- Verkehrsflächenbefestigungen sind Verbrauchsobjekte mit beschränkter Nutzungsdauer
- Insbesondere hohe Achslasten führen zu einem extrem starken Substanzverzehr (4. Potenz-Gesetz)
- Vorhandenes System der Achslastmessungen ist völlig unzureichend
- Zeitabhängige Abschreibungsmodelle sollten achslastbasiert nachjustiert werden
- Mautsätze der Lkw-Maut fördern Fahrzeuge mit geringerer Achszahl, was (bei gleicher Gütermasse) zu höheren Achslasten führt
- Systeme zur fahrzeuggestützten Achslastmessung sind verfügbar
- Sie würden eine verursacherbezogene Mauterhebung und eine restriktive Vermeidung von Überladungen durch automatisiertes Eingreifen ermöglichen

Доверяй, но проверяй

*"Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser!"*

*Lenin*

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit